

OC8 수치해석모형을 이용한 지하수 유동해석

최윤영*, 고병련¹

경북도립경도대학 건설환경과, ¹제주산업정보대학 토목환경과

1. 서 론

지하수유동시스템 해석에 있어 모델 매개변수의 초기치는 지형·지질상태에 전적으로 지배된다는 가정하에서 본 연구에 적용된 모델은 유한요소법을 이용한 WINFLOW모델이다. 적용모델은 정류 및 부정류상태의 지하수 흐름을 해석할 수 있으며 부정류해석의 피압 및 누수대수층에 대해서는 Hantrush와 Jacob(1955)의 방정식을 이용하고 있다. WINFLOW모델은 분석유역에 대한 DXF(Drawing Interchange Format)파일을 기본도면으로 하여 축척이 주어지면 격자를 자동으로 분할하며 Streamline, particle traces와 지하수유동선을 다양하고 손쉽게 묘사할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 지하수유동시스템 모델의 최적 매개변수를 추정하기 위하여 실제 함양량을 산정하고 초기 매개변수들을 결정하여 관측 지하수두치와 모의발생으로 얻은 계산 지하수두치를 비교 분석하여 모의발생을 통한 최종 수리매개변수를 산정하고 모델의 적용가능성을 검토하였으며, 지하수두 분포 및 유동경로 등 분석유역의 광역적인 지하수유동시스템을 해석함으로써 향후 분석유역에 대한 지하수 오염해석, 양수정 개발, 영향원해석 등의 지하수 관리 및 이용을 극대화할 수 있는 방향을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 수치해석모델의 기본이론

WINFLOW모델은 대수층조건이 비교적 단순한 조건하에서는 쉽게 모델구축을 할 수 있는 장점을 가지고 있으며 관정의 지하수두, 저수지, 하천 및 지질구조 등의 지형 및 지질조건과 몇가지의 수리매개변수 등을 이용하여 지하수 유동, 우물의 영향분포 및 오염원 경로추적 등을 해석할 수 있다. WINFLOW모델의 기본이론을 보면 누출이 있는 비등방, 비균질 대수층에서의 2차원 지하수 흐름에 대한 지배방정식(Bear, 1972, 1979)은 다음 식과 같이 나타날 수 있다.

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + Q + \frac{K'}{B'} (h_a - h)$$

여기서, S 는 대수층 저류상수, h 는 평균 수두, T_x 는 x 방향의 투수량 계수, T_y 는 y 방향의 투수량 계수이다. Q 는 대수층의 연직 흐름율이며, K' 는 대수층의 상부 또는 하부층의 연직투수율이고 B' 는 대수층 상부 또는 하부층의 두께, h_a 는 인접 대수층에서의 수두 및 t 는 시간이다.

3. 모델의 적용 및 분석

3.1 지형 및 지질특성

본 연구 대상유역은 행정구역상 경북 상주시 양촌동 150번지 일대이며 좌표는 동경 127° 51' ~ 128° 13', 북위 36° 25' ~ 36° 50' 사이에 위치하고 있다. 유역내 경사도는 동서방향 1/200~1/300, 남북방향 1/300~1/400정도로 완만한 구릉지이고 인근에 병성천이 유하하고 있다. 지질형태는 대부분 제4기 충적층으로 구성되어 있으며, 지층구성은 상부로부터 토사층, 풍화토층, 풍화암층 및 연암층 순서로 형성되어 있다. 분포형태는 연암층인 기반암층 상부로는 기반암의 풍화대층이 기반암의 풍화 및 변질정도에 따라 분포범위가 국부적으로 불규칙하게 나타나고 있고, 또한 풍화대층 상부로는 퇴적층이 풍화대층과는 부정합으로 분포하고 있으며, 이러한 퇴적층을 매립층, 또는 전·답토층이 피복하고 있다.

3.2 양수량에 따른 기간별 관측현황

총 관측수는 5개(P, P1, P2, P3, P4)지점으로 펌프를 설치하여 양수를 하는 지점은 P와 P1지점이며 관측정은 P2, P3, P4지점이다. 단일정에 대한 영향원 해석을 위해서는 양수정이 1지점만 필요하나 균정에 의한 양수정의 상호 간섭 현상을 파악하기 위하여 2개 지점에 대한 양수정을 설치하였으며 각 관측정의 제원은 다음의 표 1과 같다.

표 1. 각 관측정의 제원

(Unit : EL. m)

관측정 No.	P	P1	P2	P3	P4
지반고(EL.)	85.000	86.949	86.341	82.994	83.024
안정수위(EL.)	82.050	83.557	83.458	80.992	80.871
표고차(P지점에서)	0.000	1.949	1.341	-2.006	-1.976
P지점과의 거리	0.000	96.265	170.583	183.094	150.771

※ P 지점(EL. 185.0m) : 3마력, 양수량 Q=5m³/hr

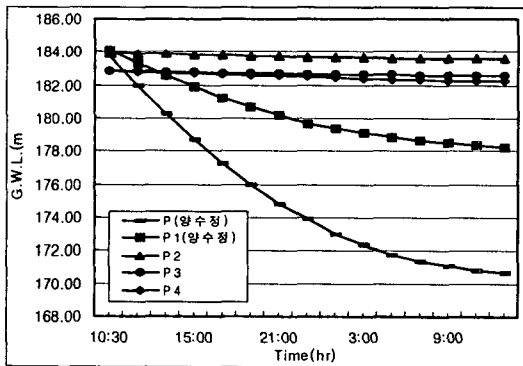
P1 지점(EL. 186.949m) : 1마력, 양수량 Q=1.5m³/hr

본 관측에서 양수정(P)의 양수량을 5m³/hr에서 4m³/hr로 1m³/hr를 작게 하여 관측을 3회에 걸쳐 실시한 결과 같은 양수 지속시간일 경우에 5m³/hr 일 때는 P지점에서 약 12~13m 수두저하가 일어났다. 하지만 4m³/hr일 경우에는 약 9~10m 정도의 수두저하가 발생되었으며 인근 관측공의 수두저하도 다소 적은 변화폭을 나타내었으나 그 수두저하 변동 특성은 일부 관측공을 제외하곤 유사하게 나타났다. P 및 P1지점에서 4m³/hr와 1m³/hr의 동시 양수를 실시할 경우의 수두저하폭은 P지점에서 약 13m, P1지점에서 6m, P2~P4지점에서 약 0.3m내외의 변화폭이 발생되어 두 양수정의 동시 양수가 실시될 경우에는 단일 양수보다 그 영향이 상당히 크게 나타나고 있다. 또한, P지점의 양수량을 1m³/hr 증가한 5m³/hr로 양수측정을 실시한 결과, 수두저하폭은 P2지점에서 약 0.14m, P3

지점에서 약 0.17m, P4지점에서 0.15m의 변화폭이 더 발생되어 두 양수정의 동시 양수에서 P지점의 양수를 4m³/hr에서 5m³/hr로 1m³/hr를 증가시킬 경우에 P3, P4 및 P2지점의 순으로 수두저하의 변화폭이 크게 나타났다.

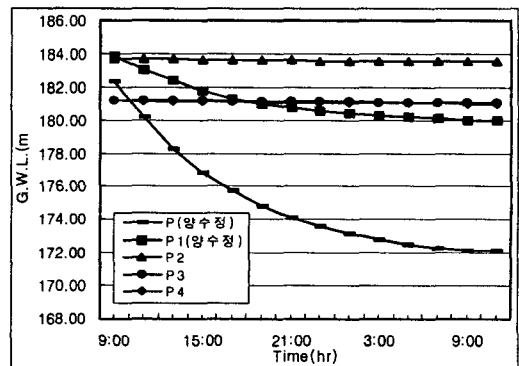
표 2 연구대상유역에 대한 관측일시와 횟수

횟수	시 간		양수량	비 고
	시 작	종 료		
1	1월 14일 오전 10:00	15일 오전 9:30	P지점 Q = 5m ³ /hr	
2	2월 17일 오전 12:00	18일 오전 11:00	P지점 Q = 5m ³ /hr	
3	3월 15일 오전 11:30	16일 오전 10:00	P지점 Q = 5m ³ /hr	
4	4월 5일 오전 9:00	6일 오전 11:30	P지점 Q = 4m ³ /hr	
5	4월 19일 오전 10:00	20일 오전 11:00	P지점 Q = 4m ³ /hr	
6	5월 18일 오전 07:30	19일 오전 12:00	P지점 Q = 4m ³ /hr	
7	5월 26일 오전 10:30	27일 오전 12:00	P지점 Q = 4m ³ /hr P1지점 Q = 1m ³ /hr	동시 양수
8	7월 16일 오전 09:00	17일 오전 11:00	P지점 Q = 4m ³ /hr P1지점 Q = 1m ³ /hr	동시 양수
9	9월 14일 오전 10:00	15일 오전 12:00	P지점 Q = 5m ³ /hr P1지점 Q = 1m ³ /hr	동시 양수



양수측정 : 5월 18일

(P지점 : Q=4m³/hr, P1지점 : Q=1m³/hr)



양수측정 : 9월 14일

(P지점 : Q=5m³/hr, P1지점 : Q=1m³/hr)

그림 1. 각 관측공의 수두저하 변동분포

4. 모델 적용

4.1. 정류상태 해석

본 분석에서는 WINFLOW모형을 이용하여 실제 분석대상 유역인 양촌유역에 대한 정류상태하의 지하등수두분포 분석을 실시하였다. 청하면유역에 대한 지하수두의 포텐셜 분포를 구하기 위하여 이용한 실측 지하수두와 분석 결과치에 대한 통계 분석은 표 3과 같다.

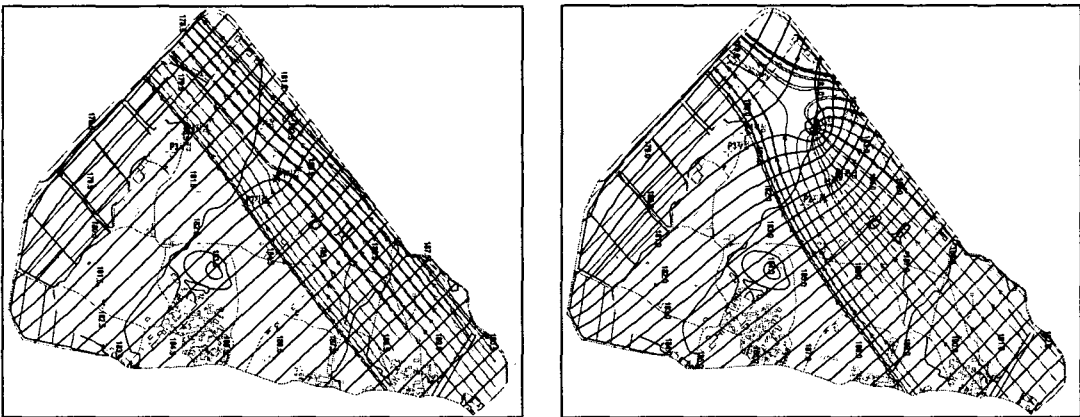
4.2. 부정류상태 해석

본 분석에서는 WINFLOW 모델을 이용하여 실제 분석대상 유역인 양촌유역에 대한 부정류상태하의 지하등수두분포 변동분석을 실시하였으며 P지점 양수량 120m³/day, P1지점 24m³/day일 때 각각에 대한 모의발생 결과는 다음의 그림 2와 같다. 먼저, 양수량(P지점)에 따른 양수기간 24일 경과 후의 지하수두 포텐셜 분포를 보면 P 및 P1지점에 대한 수두저하 현상을 제외하고는 다른 지점에서의 지하수두는 정류상태일 경우와 유사한 분포를 나타내고 있어 타 관정 주변의 지하수유동계는 거의 변동이 없음을 보이고 있다. 다음으로, 양수량(P1지점)에 따른 양수기간 24일 경과 후의 지하수두 포텐셜 분포를 보면 P1지점에 대한 수두저하 현상을 제외하고는 다른 지점에서의 지하수유동계는 거의 변동이 없음을 보이고 있다. 마지막으로, 동시 양수량(P지점, P1지점)에 따른 양수기간 24일 경과 후의 지하수두 포텐셜 분포를 보면 P 및 P1지점에 대한 수두저하 현상이 단일공일 경우 보다 차이를 보이고 있으며 다른 관정 주변의 지하수유동계도 다소나마 변동폭을 나타내고 있다.

표 3. 관측치와 계산치의 통계분석 결과

(Unit : EL. m)

구분 관정번호	관측 수 두	분석 수 두	통계 분석 치
P	182.05	182.20	Residual Mean = -0.0280 Residual Standard Dev. = 0.0738 Residual Sum of Squares. = 0.0312 Absolute Residual Mean = 0.0631 Res. Std. Dev. / Range = 0.0275
P1	183.56	183.59	
P2	183.46	183.44	
P3	180.99	180.92	
P4	180.87	180.92	



(P1, Pumping 24m³/day, After 24 hour)

(P & P1, Pumping 120m³/day & 24m³/day, After 24 hour)

그림 2. 양수에 따른 지하등수두분포 변동

4.3. 분석결과의 비교검토

본 연구에서는 양촌유역의 정류상태하의 지하수두분포 해석을 위해서 WINFLOW 모델을 제안하였으며, 분석결과는 계산된 지하수두와 관측수두를 비교할 수 있도록 정호에 따른 수두분포표를 작성하여 비교하였다. 먼저, 표 4에 나타낸 바와 같이 관측치와 각 방법에 따라 계산된 지하수두와의 오차백분율(E.P)은 0.011~0.080의 범위를 나타내었다. 모의발생한 결과에 있어 관측치와 계산치가 가장 큰 차이를 나타내고 있는 지점은 P지점으로서 오차백분율이 0.08의 값을 나타내었고, 가장 작은 차이를 보이고 있는 지점은 P2로서 0.011의 값을 나타내었다. 따라서, 본 분석에 있어 WINFLOW 모델에 의해 산정된 계산치와 관측치의 오차를 비교해 볼 때 본 분석에 의한 모의발생 결과치는 양촌유역에 대한 정류상태하에서의 지하수두 분포를 신뢰도 수준에 있어 잘 반영하고 있는 것으로 판단되며 남북방향으로는 완만하고 안정된 수두경사를 이루는 것으로 분석되었다. 다음의 표 5는 부정류상태하에서 P 및 P1의 단일양수와 동시양수일 경우에 대한 인근 관정의 수두분포를 나타낸 것이다.

표 4. 관측치와 계산된 지하수두와의 오차백분율 (정류상태)

(Unit : E.L. m)

Well No. \ Dist.	Observed Head	Computed head	Relative Error (%)	Remark
P	182.05	182.20	0.080	Max
P1	183.56	183.59	0.016	-
P2	183.46	183.44	0.011	Min
P3	180.99	180.92	0.039	-
P4	180.87	180.92	0.028	-

표 5. P 및 P1의 양수방법에 따른 인근관정의 수두분포 (부정류상태)

(Unit : E.L. m)

Well No.	P			P1			P & P1			Remark
	Obser.	Compu.	Resid.	Obser.	Compu.	Resid.	Obser.	Compu.	Resid.	
P2	183.46	183.51	-0.05	183.46	183.36	0.10	183.46	183.30	0.14	-
P3	180.99	180.86	0.13	180.99	180.87	0.12	180.99	180.80	0.19	-
P4	180.87	180.75	0.12	180.87	180.86	0.01	180.87	180.67	0.20	-

5. 요약

정류상태하에서의 WINFLOW 모델에 의한 모의발생 결과치는 산정된 계산치와 관측치의 오차백분율(0.011~0.080의 범위)를 비교해 볼 때 지하수두 분포를 신뢰도 수준에 있어 잘 반영하고 있는 것으로 판단되며 동서방향으로는 일정 수두분포, 남북방향으로는 완만하고 안정된 수두경사를 이루는 것으로 분석되었다. 분석유역에서의 지하수 유동은 남측에서 하천지역으로 안정된 유동형태를 보이고 있으며, 각 지점에 대한 입자추적은

상류에서 양수지점까지 비교적 직선에 가까운 형태를 보이고 있으나 양수지점의 하류부에서는 양수량의 크기에 따라 영향반경도 많은 차이를 나타내었다. P 및 P1관정의 동시 양수인 경우에는 P지점 또는 P1지점의 단일정일 경우보다 영향반경의 크기가 증가한 것 보다는 다소 복잡해진 양상을 보였으며 입자경로는 직선에 가까운 형태를 가지는 것으로 분석되었다. 양수량에 따른 영향원을 살펴보면 지하수가 남측에서 북측(병성천)으로 유동할 경우에 상류부보다 관정 측면과 하류부에서 더욱 크게 지하수두가 감소하는 변화경향을 나타내어 지하수유동방향 및 유속이 관정의 영향원 분포에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- Davis, S.N. and Dewiest, R.J.M., 1966, Hydrogeology, John Wiley and Sons.
- Freeze, R. A. and Witherspoon, P. A., 1966, Theoretical analysis of regional groundwater flow: 1. Analytical and numerical solutions to the mathematical model, WRR, 2.
- Hubbert, M.K., 1940, The Theory of Groundwater Motion, J. Geol., 48.
- McDonald, M.G. and A.W.Harbaugh, 1988, A Modular Three-Dimensional Finite Difference Groundwater Flow Model, USGS Techniques of Water Resource Investigations, Book 6, Chapter A1.
- Toth, J., 1963, A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins, j. Geophy. Res.
- Ueshita, K. and Sato, T., 1976, study on the Reasonable Recover of Groundwater in the Nobi Plain, Proceeding of japan Society of civil Engineers, 287.
- Wang, H.F., Anderson, M.P., 1982. Introduction to Groundwater Modeling-Finite Difference and Finite Element methods, W.H. Freeman and Company.
- 김계남, 1990, 암반에서의 지하수 유동특성분석, 한국수자원학회지, 23(2).
- 농림부, 1967, 지하수조사 시험보고서.